

3GPP Release 19의 비지상 네트워크 기술 개요

장준모*, 박소연*, 최수한°

An Overview of Non-Terrestrial Network Technologies in 3GPP Release 19

Junmo Jang*, Soyeon Park*, Suhan Choi°

요약

본 논문은 3GPP Release 19에서 표준화되는 NTN(Non-Terrestrial Network) 관련 Work Item들에 대해 분석하고 설명한다. 각 Work Item 별로 표준화가 필요한 원인에 대해 분석하고, 그 결과를 기반으로 기대할 수 있는 효과에 대해 설명한다. 또한, 3GPP Release 17과 Release 18에서 표준화된 NTN 관련 기술에 대해서 전체적으로 살펴본다. 특히, Release 19에서 NTN 관련하여 제안된 Work Item 중에서 대표적으로 Regenerative Payload, Uplink capacity/커버리지 성능 개선, Downlink 커버리지 성능 개선, Mobility 성능 개선에 좀 더 자세히 설명한다.

키워드 : 3GPP 표준 규격, 5G, 6G, B5G, New Radio, 비지상 네트워크, NR, 위성통신

Key Words : 3GPP Standard, 5G, 6G, B5G, New Radio, Non-Terrestrial Network, NR, NTN, Satellite Communications

ABSTRACT

This paper analyzes and explains the Work Items related to the NTN (Non-Terrestrial Network) that are standardized in 3GPP Release 19. It also conducts an analysis of the reasons necessitating standardization for each Work Item and explains the expected effects based on the results of this analysis. Additionally, it provides an overview of the NTN-related technologies standardized in 3GPP Release 17 and Release 18. It delves more deeply into representative Work Items proposed for NTN in Release 19, such as regenerative payload, uplink capacity/coverage enhancements, downlink coverage enhancements, and mobility enhancements.

1. 서론

기존의 지상 네트워크(TN: Terrestrial Network) 기반의 이동통신 시스템이 제공하지 못하는 산악 지역, 해양, 공중 등에 인공위성이나 HAPS(High Altitude Platform Station) 등을 통해 커버리지를 제공하고, 이

를 통해 다양하고 새로운 서비스를 제공하는 비지상 네트워크(NTN: Non-Terrestrial Network)가 최근 들어 큰 관심을 받고 있다. NTN을 위해 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 기존의 TN 기술과 다른 부분들을 중심으로 표준화 작업을 진행했다. NTN은 Release 15부터 연구 단계인 SI(Study Item)로

* 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00590, 5G 다중 대역을 지원하는 산업용 스물셀 시스템 개발)

• First Author : Dankook Univ., Department of Computer Science and Engineering, junmo.jang@dankook.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Dankook Univ., Department of Mobile Systems Engineering, suhanc@dankook.ac.kr, 정회원

* Dankook Univ., Department of AI-based Convergence, imsoyeon@naver.com, 정회원

논문번호 : 202403-047-B-RN, Received March 7, 2024; Revised April 2, 2024; Accepted April 21, 2024

연구가 진행됐고^[1], 본격적인 표준화 단계인 WI(Work Item)는 Release 17에서 시작되었다. Release 17에서는 NTN 기술의 기반을 다지기 위한 시기로 NTN의 정의 및 각 계층에서 사용되는 파라미터의 변화에 대한 표준화 작업이 진행되었다^[2]. Release 18에서는 Release 17의 NTN WI의 결과를 전반적으로 개선하는데 초점을 맞추었다^[3]. 2024년 2월 현재 표준화가 진행 중인 Release 19에서는 NTN의 본격적인 상용화에 앞서 필수불가결한 기능 추가 및 성능 개선에 대해 논의가 진행되고 있다.

최근 몇 년간 NTN에 관한 다양한 연구들이 진행되어왔다. 몇 가지 연구에 대해 소개하면, 한 논문에서는 3GPP Release 17에서의 비지상 네트워크의 layer2과 layer3 표준에 대해 자세히 설명하였다^[4]. 다른 논문에서

서는 3GPP Release 18의 비지상 네트워크 물리계층에 대한 표준화 동향을 자세히 설명하였다^[5]. 또 다른 논문에서는 3GPP Release 17 비지상 네트워크의 시험에 대한 표준화 동향을 소개하였다^[6].

기존의 연구와는 다르게 본 논문에서는 현재 표준화가 진행되고 있는 3GPP Release 19의 NTN 기술의 표준화가 어떠한 흐름으로 흘러가는지에 대해 설명한다. 특히 2023년 9월에 개최된 3GPP RP(RAN Plenary) #101 회의에서 제안된 WI들을 기반으로 NTN의 최신 표준화 동향에 대해 설명한다^[7].

본 논문에서는 Release 19 이전의 NTN, 즉 Release 17과 Release 18에서의 NTN의 흐름에 대해 간략히 설명한다. 그 후 Release 19에서의 WI로 제안된 내용들에 대해 분석한 내용을 다룬다. 이는 Regenerative pay-

표 1. Release 19 NTN 관련 WI
Table 1. Release 19 NTN WI

주제	내용	발의 회사	참고문헌
Regenerative Payload	<ul style="list-style-type: none"> Regenerative payload의 3가지 시나리오 설명 Regenerative payload를 사용할 시 얻을 수 있는 효과 Feederlink 없이 추후 모든 NGSO들이 regenerative로 동작하기를 제안 RedCap UE with 1Rx antenna와 FD-FDD/HD-FDD 동작에 대한 명시 주파수 사용대역을 Ku band(DL: 10.7~12.75, UL: 12.75~13.25 & 13.75~14.5)로 제안 3MHz channel BW 사용 제안 	CAICT, CATT, CEWiT, China Mobile, Docomo, Ericsson, Huawei, Inmarsat, Interdigital, Lenovo, Mediatek, Nokia, QC, Reliance Jio, Samsung, Xiamomi, ZTE 등	[13], [14], [15], [16], [18], [19], [21], [22], [24]
UL capacity/coverage	<ul style="list-style-type: none"> Handheld 단말의 PUSCH의 data rate을 4.5~7kbps 이상 목표 NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access) 방식을 제안하여 초기 접속을 강화하는 방안을 제시 OCC(Orthogonal Cover Codes) 방식을 이용하여 UL 자원의 효율적인 multiplexing을 제안 UL 커버리지 확대의 필요성을 설명 HPUE(High Power User Equipment)를 제안 PC(Power Class) 1.5에 대한 명확한 구체화 필요성을 강조 	CATT, Docomo, Huawei, Inmarsat, QC, Reliance Jio, Samsung, SKT, Viasat 등	[14], [16], [17], [18], [19], [20]
DL coverage	<ul style="list-style-type: none"> Release 18에서 DL 시그널의 성능 평가를 강조하며 target performance를 위해 개선이 필요한 채널 및 시그널 정의를 제안 Beam Hopping을 이용해 효율적인 Beam Management를 제안 PDCCH repetition, CORESET symbol 확장, DCI payload size 축소를 이용해 PDCCH의 커버리지 확장을 제안 PDSCH repetition, Channel Estimation 개선을 이용해 PDSCH 커버리지 확장을 제안 Paging을 위한 dedicated channel 사용을 제안 	Apple, CATT, CEWiT, China Mobile, Docomo, Ericsson, Huawei, Inmarsat, Interdigital, Lenovo, Mediatek, Nokia, QC, Samsung, VIVO, Xiaomi, ZTE 등	[13], [15], [16], [18], [19], [21], [22], [23], [24], [26]
Mobility	<ul style="list-style-type: none"> 미리 설정해 놓은 Index를 기반으로 진행하는 핸드오버 제안 인접한 단말을 하나의 그룹으로 설정하여 그룹 단위로 진행하는 핸드오버 제안 GNSS 기능이 없이 UE의 positioning이 가능하도록 하는 연구의 필요성을 강조 PRACH를 통해 TA(Timing Advance)를 얻는 방식을 제안 Conditional 핸드오버의 구체화 강조 PCI(Physical Cell ID) 변동 없는 soft switching 명시를 제안 	Apple, CATT, CEWiT, China Mobile, Ericsson, Huawei, Interdigital, Lenovo, Mediatek, Rakuten, Skylo, VIVO, ZTE 등	[13], [15], [21], [23], [25], [26]

load, UL(Uplink) 용량(Capacity)/커버리지(Coverage) 성능 개선, DL(Downlink) 커버리지 성능 개선, mobility 성능 개선의 4가지 항목을 포함한다. 표 1은 Release 19에서 제안된 NTN 관련 WI들에 대한 내용을 표로 정리한 것이다.

이 후 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 섹션 II에서는 Release 19 표준 규격 이전의 NTN기술에 대해 설명한다. 섹션 III에서는 Release 19 표준 규격에 포함된 NTN기술에 대해 분석하고 설명한다. 마지막으로 섹션 IV에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

II. Release 19 이전의 NTN

2.1 Release 17의 NTN

앞서 언급한 바와 같이 NTN은 3GPP Release 17부터 WI로 본격적인 표준화가 진행되었다. 초기 규격인 Release 17에서는 지상에 위치한 기지국(gNB: gNodeB)이 공중에 위치한 위성이나 HAPS를 중계기 처럼 사용하여 데이터를 전송하는 Transparent Payload 방식만을 표준화 대상으로 했다.

NTN에 사용되는 플랫폼은 표 2와 같다. 이 중 Release 17에서는 고도 600km에 위치하는 저궤도 위성을 기반으로 하며, FDD(Frequency Division Duplex) 방식을 기반으로 하는 WI들이 제안되었다²⁾. 이는 HAPS나 ATG(Air to Ground)에서 TDD(Time Division Duplex) 방식이 사용이 불가능하다는 뜻은 아니다. 고도와 플랫폼의 특성에 따라 duplex 방식이 결정된다. 추가적으로 단말은 GNSS(Global Navigation Satellite System) 기능이 탑재되었고, PC3(Power Class 3)을 지원하는 handheld 단말기에 대한 지원도 고려하였다. 이와 같은 조건하에 Release 17 표준화가 진행됐고, 자세한 내용은 아래에서 계층 별로 설명한다.

물리 계층에서는 NTN의 플랫폼이 높은 고도에 위치하기 때문에 발생하는 문제에 초점을 맞춰 표준화가 진행되었다. 기존 TN 대비 지상의 기지국이 전송하는 신

호가 NTN 플랫폼을 거쳐 단말에 도달하기에 propagation delay가 상당히 길어졌다. 그에 따라 기존 지상망의 방식으로 DL과 UL간 frame alignment를 맞추기가 불가능했고, 이를 위해 Timing Advance에 대한 새로운 정의가 이루어졌다.

같은 이유로 HARQ(Hybrid Automatic Repeat request) 프로세스의 수가 증가했다. HARQ 프로세스는 feedback이 오기 전까지 재사용이 불가능하여 연속적인 HARQ 전송을 위해 HARQ 프로세스 수를 기존의 16개에서 32개로 증가시켰다. 추가적으로 HARQ는 feedback이 오지 않을 경우 throughput 저하를 야기시키는 stalling 현상으로 간주될 수 있다. 이에 따라 NTN에서는 옵션에 따라 단말이 HARQ feedback을 보내지 않는 HARQ feedback disabling 기능이 도입되었다.

Layer 2에 속하는 MAC(Medium Access Control) 계층, RLC(Radio Link Control) 계층, PDCP(Packet Data Convergence Protocol) 계층에서는 사용하는 Window와 Timer 변수를 TN과 다르게 고려하였다^{3), 9), 10)}. 송신에 필요한 시간이 길어짐에 따라 기존 TN에서 사용하던 Window 값을 증가시키고 Timer의 시작 시점을 늦췄다. 단말과 네트워크 간 상호작용에 필요한 변수들에 대해서는 단말과 기지국간 RTT(Round Trip Time) 만큼 뒤에 시작하는 방안이 채택되었다. 이러한 방안으로 RAR(Random Access Response) window, RA(Random Access) Contention Resolution Timer, DRX(Discontinuous Reception) 상황일 때 HARQ RTT(Round Trip Time) Timer가 적용되었다. 반면에 단말의 독자적인 동작을 위해 필요한 Timer의 경우에는 확장을 통해 NTN 상황을 대처하기로 정했다. 그 외에도 RRC(Radio Resource Control) 계층에서 NTN을 위한 SIB19(System Information Block 19)에 대한 정의, NTN config가 정의되었다¹¹⁾. 이와 같이 Release 17의 NTN 기술은 NTN 구현을 위한 초기 단계에 해당하며 NTN을 위한 기반을 다지는 시기였다.

표 2. NTN 플랫폼
Table 2. NTN Platform

NTN 플랫폼	고도 범위	궤도	Footprint 크기
GEO(Geostationary Earth Orbit) 위성	35,786 km	지구를 중심으로 설정된 높이(elevation)와 방위각(azimuth)에 고정된 위치	200 ~ 3,500 km
MEO(Medium Earth Orbit) 위성	7,000 ~ 25,00 km	지구를 중심으로 공전	100 ~ 1,000 km
LEO(Low Earth Orbit) 위성	300 ~ 1,500 km	지구를 중심으로 공전	100 ~ 1,000km
UAS(Unmanned Aircraft System) 플랫폼	8 ~ 50 km	지구를 중심으로 설정된 높이(elevation)와 방위각(azimuth)에 고정된 위치	5 ~ 200 km

2.2 Release 18의 NTN

NTN의 3GPP에서의 두번째 RAN(Radio Access Network) 규격인 Release 18에서 진행된 WI은 RAN#94e 회의에서 도출되었다. 이 WI들은 모두 Release 17 대비 NTN의 성능을 향상시키기 위해 개선된 기술들이며, 다음과 같다.

- 커버리지 개선
- 10GHz 이상 주파수 대역에서의 NR over NTN 운용
- 네트워크에 의한 단말 위치 검증
- NTN과 TN, NTN과 NTN 간 이동성 및 지속성 개선

Release 18에서는 NG-RAN 기반의 NTN 표준화를 위해 다음과 같은 시나리오를 가정한다³⁾. 다음의 가정은 HAPS나 ATG 환경에도 적용된다.

- GSO(Geostationary Orbit)과 NGSO(Non-Geostationary Orbit)를 가정
- 지상에 고정된 Tracking Area를 가정하고, NGSO는 지상 고정 및 지상 이동 셀(Cell)을 가정
- Duplex는 FDD를 가정
- GNSS 지원 단말
- FR(Frequency Range) 1은 지향성 안테나를 갖는 VSAT(Very Small Aperture Terminal)과 상용 휴대용 단말을 지원
- 10GHz 이상 주파수 대역은 지향성 안테나를 갖는 VSAT만 지원

Release 18에서 NTN은 위성과 단말의 직접 통신에 목적을 두었다. 이를 위해 커버리지 증대가 WI으로 진행되었다. Power Class3, 즉 최대 송신 파워를 23dBm을 갖는 휴대용 단말을 기준으로 UL 커버리지 확대를 위한 제안들로 구성되었다. 주 목표는 VoIP(Voice over Internet Protocol) 사용을 위한 AMR(Adaptive Multi-Rate) 4.75kbps와 데이터 전송을 위한 3kbps이다. 이후 여러 물리 계층의 채널들에 대한 성능 평가가 진행되었고, 그 평가 결과를 기반으로 RAN#97 회의에서 최종적으로 두개의 채널에 대한 작업을 수행하기로 했다. 채택된 내용으로는 RAN1과 RAN4에서 진행된 Msg4 HARQ-ACK를 위한 PUCCH(Physical Uplink Control Channel) 개선과 RAN1에서 진행된 PUSCH(Physical Uplink Shared Channel)를 위한 DMRS(Demodulation Reference Signal) bundling 개선이다.

Release 18에서 10GHz 이상 주파수 대역에서의 NR

over NTN 운용 시나리오는 다음 사항들을 가정한다.

- GSO와 NGSO 기반의 위성 통신을 가정
- 고정형 및 이동형 VSAT을 목표로 지원하며, TR(Technical Report) 38.821에 정의된 VSAT 단말을 우선적으로 고려
- 10GHz 이상의 주파수 대역은 FDD 모드를 가정하며, 그 대역에서의 TDD 모드는 TN의 FR2를 위해 사용
- ITU-R에서 정의한 Ka 밴드를 기준으로 사용
- NTN 밴드와 TN 밴드가 겹쳐져 발생하는 공존은 이번 WI에서 배제

이와 같은 시나리오를 기반으로 2022년 6월부터 RAN4에서는 본격적인 표준화가 진행되었다.

첫째, NTN을 위한 시험 대역에 대한 연구가 이루어졌다. ITU에서 할당된 Ka 밴드가 기준으로 고려되었으며, 추가적으로 deployment type, 시나리오, ITU-R 및 지역의 규제를 고려하여 3GPP의 minimum performance requirement에 적절한 시험 밴드에 대한 연구가 진행되었다. 둘째, 지정된 시험 대역에 적절한 위성 통신 node와 다양한 VSAT UE class에 대한 송수신 성능에 대한 요구사항들이 정의되었다. 마지막으로, FR 1과 FR 2의 물리 계층 파라미터들을 정의했다. 이 파라미터들의 예시로는 타이밍 관계 개선을 위한 K offset, 10GHz 이상 주파수 대역의 FDD를 위한 PRACH (Physical Random Access Channel) configuration index 등이 있다.

네트워크에 의한 단말의 위치 검증은 단말이 네트워크에 보낸 위치 정보를 네트워크 단에서 해당 정보가 적절한지에 대해 검증을 하는 것을 의미한다. 사용자가 GNSS를 통해 충분한 위치 정보를 얻지 못했거나, 악의적으로 상이한 PLMN(Public Land Mobile Network)을 사용할 경우를 대비해 네트워크 단에서 검증하는 것이다. NTN의 높은 고도로 인해 넓은 셀을 갖기 때문에 여러 국가에 걸쳐 서비스를 제공하는 경우도 있다. 국경 지역에서 이와 같은 상황이 발생할 경우 사용자는 원래 접속해야 할 코어 네트워크에 접속이 불가능해 서비스를 제공받을 수 없게 된다. 네트워크에서 사용자의 위치 정보를 검증하는 여러 방법 중 Release 18에서는 눈에 보이는 단일 위성인 상황에서 다중 RTT를 이용하는 방법을 우선적으로 규격화 하기로 했다. DL-TDOA (Downlink Time Difference of Arrival)는 위치 정보를 검증하는데 소요되는 시간이 비교적 많이 필요하기 때문에 후순위로 고려했다.

III. Release 19의 NTN

본 섹션에서는 Release 19의 NTN 표준화 동향에 대해 설명한다. 2023년 9월에 개최된 3GPP RP#101 회의에 제안된 WI를 기반으로 크게 4개의 부분으로 나누어 설명한다. 첫째는 Regenerative Payload이다. 기존 Release 18까지의 NTN은 Transparent Payload를 기반으로 표준화가 진행된 반면 Release 19에서 처음으로 Regenerative Payload에 대한 표준화가 진행되며 이에 대한 WI를 설명한다. 둘째로 UL 용량과 커버리지에 필요한 개선점을 다룬다. 기존 NTN의 낮은 UL 용량으로 인해 발생한 병목현상에 대해 PUSCH repetition의 방식으로 이를 해결했으나 상용화를 위해서는 여전히 부족한 성능을 보여준다. 그로 인해 Release 19에서는 여러 제안을 통해 이를 해결하려고 한다. 셋째는 DL 커버리지이다. Release 18에서 진행한 성능 시험 결과 Clutter 손실과 Shadow Fading 손실로 인해 DL 시그널에서 저조한 성능이 발견되었다^[12]. 이를 해결하기 위해 Release 19에서 제안된 WI들에 대해 설명한다. 마지막은 NTN의 mobility 강화를 위한 것으로 NTN의 본격적인 상용화에 앞서 feeder link의 switch over와 관련하여 시그널링 overhead 측면에서 효율성을 고려해 좋은 성능을 보인 WI에 대해 설명한다.

3.1 Regenerative Payload

기존 Release 18까지의 NTN은 모두 Transparent Payload(또는 mode)를 가정하고 표준화를 진행했다. Release 19에서는 지상의 기지국에 독립적으로 동작할 수 있는 Regenerative Payload에 대해 표준화 진행을 요청하는 WI들이 있다^{[12], [13]}. Regenerative Payload는 RF filtering, Frequency conversion, amplification, modulation/demodulation, coding/decoding, switching, routing의 기능을 NTN node에서 수행한다. 즉, 지상의 gNB 기능의 일부 또는 전체를 대체할 수 있다.

그림 1과 그림 2는 각각 Transparent payload와 Regenerative payload 기반의 통신구조를 도식화한 것이다. 그림1은 지상의 gNB가 NTN gateway를 통해 비지상 node와 연결이 되는 반면, 그림 2에서는 비지상 node 자체가 gNB의 역할을 한다.

이로 인해 Regenerative payload의 장점으로는 기존 feeder link와의 주파수 간섭을 고려할 필요가 없어 주파수 효율성이 좋고, feeder link의 부재에 따라 RTT가 줄어든다. 쉽게 말해 지상의 gateway에 대한 의존도를 줄이고, 지연 속도를 줄이면서 throughput 증대의 효과까지 기대한다.

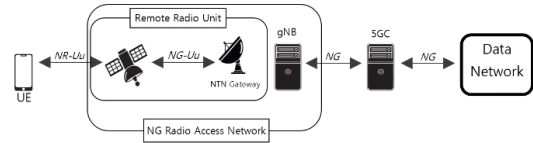


그림 1. Transparent payload 기반의 통신 구조
Fig. 1. Architecture of Transparent payload

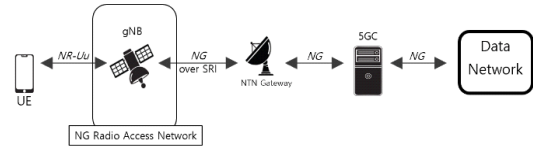


그림 2. Regenerative payload 기반의 통신 구조
Fig. 2. Architecture of Regenerative payload

Regenerative Payload 방식의 통신은 최종적으로 Full Duplex Frequency Division Duplex(FD-FDD)와 Half Duplex FDD(HD-FDD)를 모두 지원해야 한다고 몇몇 회사들은 주장한다^[14]. FD-FDD와 HD-FDD의 가장 큰 차이점으로는 FD-FDD는 UL과 DL을 동시에 전송할 수 있는 반면, HD-FDD는 TDD와 비슷하게 한순간에 DL이나 UL 중 하나의 처리만 가능하다. HD-FDD는 UL 주파수와 DL 주파수 사이의 가드 밴드(guard band)가 좁은 경우에 효율적인 송수신을 가능하게 해준다. 추가적으로 단말에 duplex filter가 필요하지 않아 구현이 간단하다. 따라서, 이 방식은 RedCap (Reduced Capability)과 같이 저사양 단말을 위한 조건이다.

Regenerative Payload가 구현됨에 따라 NTN 시나리오는 Full gNB type, DU(Distributed Unit) type, NCR(Network Controlled Repeater) type으로 크게 나뉘게 된다. 먼저 Full gNB type은 모든 gNB의 기능을 위성 내에서 해결하는 시나리오이다. 즉, 더 이상 지상의 기지국에 의존할 필요 없이 NTN node 독립적으로 서비스를 온전히 제공할 수 있음을 의미한다. DU type 시나리오는 CU(Central Unit)은 지상에, DU는 위성에 탑재하여 F1 interface를 이용해 CU와 DU간 통신하는 것을 의미한다. 위성과 같은 NTN node에서 기지국의 모든 기능을 수행할 수는 없지만, 해당 시나리오만 구현되어도 MAC 계층과 RLC 계층을 NTN node에서 처리하기 때문에 RTD(Round Trip Delay)가 훨씬 짧아진다. HARQ와 ARQ(Automatic Repeat request)를 지상 기지국이 아닌 NTN node에서 처리하기 때문이다. 마지막으로 NCR type은 기존의 transparent payload과 동일한 방식으로 모든 gNB 기능이 지상에 위치한 기지국에서 실행되는 시나리오를 의미한다. 단, NCR type

에서는 NTN node가 NCR과 같이 제어가 가능한 중계기 역할을 수행한다.

Regenerative Payload의 사용 주파수 대역으로는 기존에는 Ka 대역(26.5~40GHz)을 10GHz 이상 대역의 기준점으로 사용되었지만, Ku 대역(12~18GHz)을 추가적으로 제안했다¹⁴⁾. DL은 10.7GHz에서 12.75GHz, UL은 12.75GHz에서 13.25GHz와 13.75GHz에서 14.5GHz를 연구하여 각 국가별, 지역별 규제에 문제가 없을 지 논의 중에 있다.

3.2 UL Capacity/Coverage Enhancements

3GPP에서는 Release 18까지 NTN의 넓은 UL 커버리지를 위한 연구를 수행하고 표준화를 진행했다. 하지만 낮은 송신 전력(Tx Power)과 안테나 gain으로 인해 UL의 data rate은 3kbps에서 4.75kbps 정도로 낮았다. 이와 같이 낮은 성능을 보인 이유는 Clutter 손실 때문이다. 그로 인해 Release 18에서는 LoS(Line of Sight) 상황에서의 1200km 상공의 LEO 위성을 가정하여 표준화를 진행하였다. Repetition을 통해 불안정했던 UL을 안정화하고 커버리지를 넓힌 반면, 그로 인해 주파수 효율성이 떨어져 UL 용량을 잃었다. 추가적으로 넓어진 커버리지로 인해 하나의 위성당 담당하는 사용자가 더 많아지게 되었고, 주파수 효율은 더 떨어지게 되었다.

이와 같은 이유로 Release 19에서는 UL의 용량을 높이기 위한 제안들이 Work Item에 포함되어 있다. 첫째, UL data rate의 개선이다¹⁵⁾. Handheld 단말을 대상으로 PUSCH에서의 data rate을 4.5~7kbps 이상을 목표로 한다. 셀 커버리지에 제한을 두고 repetition을 사용해 UL 용량을 늘리거나, 이와 동등한 기술 개발을 목표로 한다. 둘째, UL access capability를 증가시킨다. 추가적인 UL access 자원 할당을 통해 더 많은 단말을 수용하고, 더 높은 data rate을 제공한다. 이를 위한 기술로는 NOMA(Non-Orthogonal Multiple Access)와 같은 기술을 이용해 초기 접속을 강화하는 방식을 제안한다¹³⁾. 마지막으로 OCC(Orthogonal Cover Codes)를 이용하는 방법이다¹⁶⁾. 낮은 code rate인 상황에서 OCC를 이용하면 같은 RB(Resource Block)를 사용하여 여러 단말에게 multiplexing을 해줄 수 있다. 이 시나리오를 통해 최대 10배의 UL 용량을 얻을 수 있다. OCC를 이용하면 손실이 없이 최대 6개의 단말까지 지원할 수 있어 low code rate에서는 성능 변화에 커다란 영향이 없다¹⁷⁾.

UL의 커버리지를 늘리기 위한 방법도 제안되었다. Release 18에서 UL 커버리지를 늘리기 위한 시나리오들이 논의되었지만, 그들은 NTN system에 영향을 줄

수 있는 방식이다. 따라서 현존하는 NTN system에 가장 적은 영향을 주며 효율적으로 UL 커버리지를 확대하는 방법은 단말의 Tx power를 증가시키는 것이다^{18,19)}. 이러한 HPUE(High Power User Equipment)는 기존 LTE에서도 사용된 방법이다. 송신 전력의 세기를 높여 도달할 수 있는 거리를 늘리고, 빌딩이나 나무와 같은 장애물들을 통과할 수 있게 된다.

이에 따라 WI에서는 FR1 밴드에 대해 기존 PC 1(Power Class 1)과 PC 2(Power Class 2) 사이의 PC 1.5에 대해 명확하게 구체화할 필요성을 강조한다¹⁶⁾. 기존 handheld 단말이 대부분의 국가에서 규제에 따라 PC 3(최대 출력: +23dBm)을 출력했지만, UL 커버리지를 위해 PC 2나 PC 1.5까지도 출력이 필요하다는 것이다. PC 1은 +31dBm, PC 1.5는 +29dBm, PC 2는 +26dBm이며 NTN에서도 HPUE 도입을 제한한다.

이와 같은 제안이 반영되기 위해서는 FDD PC 1.5를 실현할 RF component의 가능성과 단말기 구현이 가능한 지에 대해 확인이 필요하다. 사용 주파수 밴드로는 n255(DL: 1525 ~ 1559 MHz, UL: 1626.5 ~ 1660.5 MHz)와 n256 (DL: 2170 ~ 2200 MHz, UL: 1980 ~ 2010 MHz)이 PC 2 지원을 고려하고 있다. 따라서 이 두 밴드에 대해 송신 전력이 세지더라도 지상망의 인접 채널과 공존하는 데 문제가 없는지 연구가 필요하다.

추가적으로 단말의 최대 출력, MPR(Maximum Power Reduction), ACLR(Adjacent Channel Leakage Ratio)와 같은 RF 요구사항에 대해서도 좀 더 명확한 검토가 필요하다.

3.3 DL coverage

Release 18에서 Clutter 손실과 단말의 제한적인 송신 조건으로 인해 UL 커버리지에서 병목현상이 발견되었다. 따라서 해당 단계에서는 온전히 UL 커버리지 기능 개선에만 집중하여 표준화가 진행되었다. 하지만 이와 같은 현상은 DL에서도 발생할 수 있고 NTN의 상용화를 위해서 DL 커버리지는 중요한 요소 중에 하나이기 때문에 Release 19에서는 DL 커버리지 개선 관련 논의가 진행 중이다. Release 18에서 PDSCH(Physical Downlink Shared Channel), PDCCH(Physical Downlink Control Channel), SSB(Synchronization Signal Block)에 대한 성능평가가 이루어졌고, 기대에 못 미치는 성능이 발견되었다²⁰⁾. 사용하는 주파수와 elevation 각도에 따라 달라지는 Clutter 손실과 Shadow Fading 손실에 의한 성능 저하가 발생했다¹²⁾. 저궤도 위성 시나리오에서의 Msg4 PDSCH는 2.2~2.8dB의 성능 저하를 보이고, NLoS(Non-Line of

Sight) 저궤도 위성 시나리오에서 repetition이 없이는 PDCCH 역시 1.9~2.6dB 성능 저하가 발견되었다. 다른 이유로는 하나의 위성이 신호를 전송할 수 있는 footprint가 넓기 때문에 많은 셀을 커버해야 하고, 그 결과 송신 전력이 분산되어 제한된 성능을 보일 수 있다. 예를 들어, 600km 고도에 위치한 저궤도 위성이 1700km 지름의 footprint를 갖는다고 하자. 이 경우 Elevation 각도를 30도, 50km 직경의 beam으로 구성한다면 약 1100개 이상의 beam이 필요하다. 이에 따라 많은 power sharing이 발생하고 성능 저하가 발생하게 된다. 즉, Beam의 분산으로 인한 Dynamic Power Sharing이 발생하는 상황으로 인해 커버리지에 제한이 생길 수 있다.

이에 따라 Release 19에서는 개선된 beam management에 대한 논의가 진행되었다. 위성을 통해 커버리지 안에 데이터 수요가 있는 지역에 데이터 전송이 가능한 기술인 Beam hopping을 통해 좀더 유연한 커버리지 관리가 가능해진다²¹. 예를 들어 동시에 최대 110개의 beam만 출력할 수 있는 위성의 경우 full 커버리지를 위해 1100개의 beam이 필요하다면, 그림 3과 같이 시분할을 하는 beam hopping을 통해 커버하는 WI이 제안되었다. PDCCH의 커버리지를 늘리기 위해 repetition을 사용하거나, CORESET(Control Resource Set) symbol의 확장, DCI(Downlink Control Information) payload size의 축소 등의 의견도 제시되었다²². PDSCH의 커버리지를 늘리기 위해서는 repetition을 사용하거나, channel estimation을 개선하는 방식도 논의 중에 있다.

다른 방법으로는 paging을 위한 dedicated channel을 이용하는 방법도 있다²³. 하지만 paging에 사용하는 PDCCH와 PDSCH의 확장과 SSB의 확장이 동등하게 이루어진다면 본 방법은 고려할 필요는 없다. 이 모든 방안을 정하기 앞서, Release 18에서 평가된 성능 결과를 기반으로 현재 개선이 필요한 physical channel의

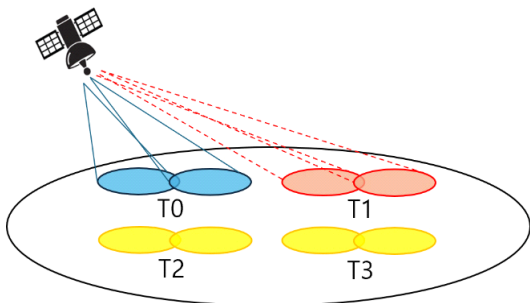


그림 3. Beam Hopping 시나리오
Fig. 3. Beam Hopping Scenario

우선순위를 정하고, 그에 합당한 목표 SNR을 정해야 한다. 추가적으로 웨어러블 단말기와 같은 1Rx RedCap 단말에 대해서도 지원이 되어야 한다. 사용할 주파수 대역은 10GHz 이상의 대역과 FR 1 대역 모두 고려 중에 있다.

3.4 Mobility Enhancements

끊김 없는 서비스 제공을 위해서는 mobility가 중요하다. 저궤도 위성은 지구를 중심으로 빠른 속도로 공전해서 위성의 지상 커버리지가 계속 변화한다. 따라서, 기존 지상망과는 다른 방법으로 mobility를 제공해야 한다. 단말이 이동할 때 현재 기지국의 셀을 벗어나 인접 기지국의 셀로 이동하며 연결 상태가 유지되는 기능을 핸드오버(handover 또는 handoff)라고 한다.

저궤도 위성을 기반으로 하는 NTN의 경우, 위성이 이동함에 따라 지상의 기지국과의 연결이 계속 변경되는데 이를 Switch over라고 한다. 이런 switch over에는 두가지 종류가 있다. 하나는 Hard Switch over로 현재 서비스를 제공하는 위성과의 연결을 끊고 다음 서비스를 제공할 위성과의 연결을 하는 방식이다. 두번째는 Soft switch over로 현재 서비스를 제공하는 위성과의 연결을 유지한 상태에서 다음 서비스를 제공할 위성을 연결하고, 그 후에 이전 위성과의 연결을 끊는 방식이다.

이 두가지 방식에 대해 PCI(Physical Cell ID) 변동 없이 hard switch over와 soft switch over가 실현 가능하다고 각각 RAN1#113과 RAN1#114에서 결론이 났다²⁰. 그림 4는 PCI 변동 없이 switch over를 진행하는 시나리오를 나타낸 것이다.

저궤도 위성이 Switch over를 하는 과정에서 SSB 충돌로 인해 발생하는 interference를 완화시키거나 Switch over를 위한 정확한 time synchronization을 구현하기 위해 네트워크의 복잡도가 많이 높아진다. 따라서 이러한 mobility 과정에서 발생하는 높은 복잡도와 overhead를 줄이는 것을 목표로 하는 여러 가지 WI를

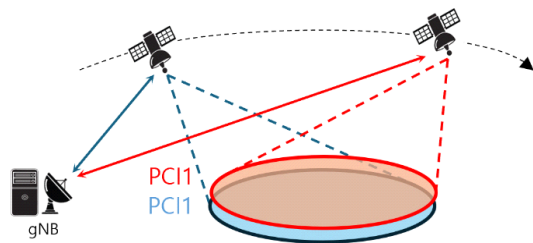


그림 4. PCI 변동 없이 switch over를 하는 시나리오
Fig. 4. PCI Unchanged Switch over Scenario

이 Release 19에서 제안되었다.

그 중 하나는 핸드오버 커맨드를 미리 정해 놓은 index를 기반으로 전송하는 방식이다^[23]. 기지국과 단말 간 핸드오버 커맨드 디폴트 리스트를 정의하고, 실제로 핸드오버를 하는 과정에서 index만 보낸다. 이렇게 통제하는 방식으로 전송하는 bit수를 줄여 시그널링 overhead를 줄일 수 있다. 하지만 각 index에 대한 구성을 정확하게 설정해야 하므로 구현의 복잡성이 증가하고, 새로운 요구 사항이나 환경 변화에 대응이 불가능하여 유연성이 제한될 것으로 예상된다. 추가적으로 잘못된 index 설정 및 적용으로 인해 오류 발생의 가능성이 있으며, 여러 index를 관리해야 하므로 유지보수의 어려움이 있을 수도 있다. 다른 방식은 그룹 기반으로 measurement report와 핸드오버를 하는 방식이다^{[22], [24]}. 그림 5와 같이 하나의 네트워크를 기준으로 여러 인접한 단말기를 하나의 그룹으로 묶는다. 이 그룹 중 하나의 단말기만 해당 그룹의 대표로 네트워크에 measurement report를 보낸다. 네트워크는 이 report를 기반으로 해당 그룹의 모든 단말이 소스 셀에서 타겟 셀로 훨씬 적은 시그널링 overhead를 발생하며 핸드오버를 할 수 있다. 하지만 이는 네트워크 구현의 복잡성이 증가하고, 단일 사용자의 핸드오버보다 많은 시간을 소요하여 개인별로는 delay가 발생할 가능성이 있다. 추가적으로 UE간 동기화가 필요하여 UE 구현의 복잡성도 증가할 것으로 예상된다.

그 외에도 mobility 개선을 위해 단말의 positioning 강화를 제안하였다. 기존에 단말기는 GNSS를 통해 서비스를 제공하는 위성의 ephemeris 데이터를 이용해 위성의 위치, 속도, 방향 등을 알 수 있다. 이러한 정보를 기반으로 단말은 주파수와 시간에 대한 보상을 할 수 있다. 하지만 이런 GNSS는 connected 상태에서만 동작하므로 idle 상태에서는 활용이 불가능하다. NTN의 편재성을 위해서 RRC_CONNECTED와 RRC_IDLE 두 모드

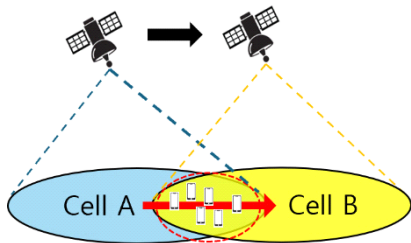


그림 5. 그룹 핸드오버 시나리오
Fig. 5. Group Handover Scenario

에서 동작이 원활해야 한다. 따라서 Release 19에서 GNSS 기능 없이 positioning이 가능하도록 하는 연구를 추진하고 있다^[25]. 즉, GNSS를 통해 단말이 자신의 위치를 알지 못한 상태에서 시간과 주파수에 대한 보상을 할 수 있어야 한다. PRACH를 통해 TA(Timing Advance)를 얻는 방식도 제안되었으나, 추가적인 연구가 필요한 상황이다. 이러한 제안들 외에도 mobility 개선을 위해 Conditional 핸드오버의 구체화, PCI 변동 없는 soft switching 등이 논의되고 있다.

IV. 결론

본 논문은 Release 19 워크숍 이후 3GPP에서 표준화되고 있는 Release 19의 NTN 관련 WI 동향에 대해 살펴보았다. 또한, Release 19 이전에 표준화된 Release 17과 18에 포함된 NTN 관련 표준 기술에 대해서도 설명하였다. Release 18까지 NTN의 한계점을 정확하게 파악하고 상용화에 필수적으로 필요한 기술 요소에 대해 WI 선정이 필요하다. Release 19 NTN에 대한 후속 연구를 통해 여러 NTN의 WI 제안들 중 선정된 아이템에 대한 개선 사항과 자세한 규격의 특징을 확인할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] RP-171450, “Study on NR to support Non-Terrestrial Networks,” Thales, Dish network, HUGHES Network Systems Ltd, ESA, RAN#88bis
- [2] RP-220208, “Solutions for NR to Support Non-Terrestrial Networks (NTN),” Thales, RAN#95-e
- [3] RP-230809, “NR NTN (Non-Terrestrial Networks) enhancements,” Thales, RAN#99
- [4] W. S. Lee, D. H. Park, and S. J. Yoon, “Standardization trends on NR non-terrestrial networks in 3GPP,” in *Proc. Symp. KICS*, pp. 898-899, 2023.
- [5] J.-B. Kim and J. Ryu, “3GPP 비지상 네트워크 물리계층 표준화 동향,” *The Mag. IEEE*, vol. 50, no. 7, pp. 49-58, 2023.
- [6] Y. T. Lee, K. I. Jang, S. R. Jung, J. H. Lee, and G. K. Nam, “Standardization trends on non-terrestrial networks testing in 3GPP,” in *Proc. Symp. KICS*, pp. 1236-1237, 2023.

[7] RP-231565, "Proposed RAN1/2/3 led potential topics for Rel-19 NTN evolution," Thales, Inmarsat, Viasat, Novamint, ETRI, Apple, Gatehouse, Fraunhofer IIS, Fraunhofer HHI, Eutelsat, Hughes, SES, Lenovo, Airbus, Sateliot, Gilat, Intelsat, ESA, CeWIT, RAN#101

[8] 3GPP TS 38.321, "Medium Access Control (MAC) Protocol Specification(Release 17)," V17.4.0, Mar. 2023

[9] 3GPP TS 38.323, "Radio Link Control (RLC) protocol specification(Release 17)," V17.2.0, Dec. 2022

[10] 3GPP TS 38.323, "Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification(Release 17)," V17.4.0, Mar. 2023

[11] 3GPP TS 38.331, "Radio Resource Control (RRC) protocol specification(Release 17)," V17.4.0, Mar. 2023

[12] R1-2206063, "Discussions on coverage enhancement for NR NTN," VIVO, RAN WG1 #110

[13] RP-232527, "Rel-19 NTN enhancements," Ericsson, RAN#101

[14] RP-232299, "Evolution of NTN for Release 19," Reliance Jio, RAN#101

[15] RP-232330, "NTN enhancements," Mediatek, RAN#101

[16] RP-232078, "Further enhancements on NR NTN," NTT DOCOMO, RAN#101

[17] RP-232595, "Inmarsat-Viasat operator priorities for NTN Evolution in Release 19," Inmarsat, Viasat, RAN#101

[18] RP-231720, "Views on scope for NTN enhancements in Rel-19," Qualcomm Incorporated, RAN#101

[19] RP-232650, "NTN enhancements in Rel-19," Samsung, RAN#101

[20] RP-232017, "High-Power UE (HPUE) for Rel-19 NR NTN," SK telecom, RAN#101

[21] RP-232210, "NR NTN evolution in R19," China Mobile, RAN#101

[22] RP-232131, "NTN enhancement in Rel-19," Xiaomi, RAN#101

[23] RP-232096, "Views on NTN Evolution in

R19," Apple, RAN#101

[24] RP-232154, "Views on NTN for Rel-19," ZTE, RAN#101

[25] RP-231839, "NTN Enhancements Proposal for Rel-19," Rakuten Mobile, RAN#101

[26] RP-231795, "Rel-19 NTN evolution," VIVO, RAN#101

장 준 모 (Junmo Jang)



2020년 2월: 단국대학교 모바
일시스템 공학과 졸업
2022년 9월~현재: 단국대학교
컴퓨터학과 석사과정
<관심분야> 이동통신, 3GPP
표준, 통신이론, 비지상 네
트워크, 위성통신

[ORCID:0009-0000-5314-986X]

박 소 연 (Soyeon Park)



2023년 2월: 단국대학교 모바
일시스템 공학과 졸업
2023년 3월~현재: 단국대학교
인공지능 융합학과 석사과정
<관심분야> 이동통신, 무선통
신, 비지상 네트워크, 5G

최 수 한 (Suhan Choi)



1994년 2월 : 한양대학교 전자
통신공학과 공학사

1996년 2월 : 한양대학교 전자
통신공학과 공학석사

2006년 8월 : University of
Michigan, Ann Arbor 공학
박사

1996년 2월~1996년 12월 : 삼성종합기술원 주임연구
원

1997년 1월~2010 8월 : 삼성전자 책임연구원

2010년 9월~2016년 8월 : 단국대학교 모바일시스템
공학과 조교수

2016년 9월~2022년 8월 : 단국대학교 모바일시스템
공학과 부교수

2022년 9월~현재 : 단국대학교 모바일시스템공학과
교수

<관심분야> 통신이론, 정보이론, 이동통신, 3GPP표
준, 해상 및 수중 네트워크 등

[ORCID:0000-0002-6588-2986]